



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

RASKASBETONOINTI

TEKIJÄ: Juuso Niemelä

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Rakennustekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Juuso Niemelä			
Työn nimi			
Raskasbetonointi			
Päiväys	2.4.2014	Sivumäärä/Liitteet	25+6
Ohjaaja(t)			
Lehtori Matti Mikkonen			
Lehtori Juha Pakarinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli raskasbetonin käyttö Kuopion yliopistollisen sairaalaan uudessa säderakennuksessa. Tietoa ja osaamista raskasbetonoinnin suhteen on Suomessa vielä hyvin vähän, joten yksi opinnäytetyön tavoitteista olikin tietoisuuden lisääminen raskasbetonista. Raskasbetonoinnin käyttö suomalaisissa rakennusprojekteissa olisi joissakin tilanteissa tavallista betonia kannattavampaa, koska raskasbetonoinnin avulla päästään samaan lopputulokseen pienemmillä ainemäärillä. Esimerkiksi sairaaloissa on tärkeää pystyä suojautumaan ionisoivalta säteilyltä, jota syntyy hoito- ja kuvantamislaitteista. Raskasbetoni vaimentaa säteilyn intensiteettiä tavallista betonia voimakkaammin, johtuen sen suuremmasta tiheydestä.</p> <p>Opinnäytetyössä käytetty menetelmä oli työn ohessa tapahtuva ennakointi, suunnittelu ja työn etenemisen tarkastelu. Suurin osa havainnoista kerättiin työpäivän aikana työmaalla. Ensimmäinen valu raskasbetonista tehtiin maaliskuussa 2014, ja valu sujui erinomaisesti. Kysessä oli koevalu, joka toimii myös opinnäytetyön keskeisenä osana. Siinä keskityttiin nimenomaan tarkastelemaan koevaluun liittyviä riskejä, haasteita ja niistä selviytymistä. Lisäksi hyödynnettiin Luja-Betoni Oy:n käyttämää lämmöntarkkailujärjestelmää. KYSille rakennettavan säderakennuksen raskasbetonointi oli ensimmäinen laatuaan sekä Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:lle että betonitoimittaja Luja-Betoni Oy:n Kuopion toimipisteelle. Opinnäytetyötä varten lähdetietoina käytettiin kirjallisuutta normaalista betonista ja LKAB Minerals Oy:n lähettämiä esitteitä raskasbetonista.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena havaittiin, että raskasbetoni käyttäytyy valaessa lähes samankaltaisesti kuin normaali betoni. Riskien kartoituksessa onnistuttiin hyvin ja realistisesti. Koevalussa ei myöskään huomattu mitään sellaisia ongelmia, joihin ei ollut varauduttu. Opinnäytetyössä havaittiin, että riittävän kattavalla riskien kartoituksella ja valmistautumisella raskasbetoni on joissakin rakennustoissa tavallista betonia parempi vaihtoehto.</p>			
Avainsanat			
Raskasbetoni, säteilysuoja, koevalu			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Juuso Niemelä			
Title of Thesis High Density Concreting			
Date	April 2, 2014	Pages/Appendices	25+6
Supervisor(s) Mr. Matti Mikkonen, Lecturer Mr. Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Ltd			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to test high density concreting at the new hospital building in Kuopio University Hospital. In Finland, knowledge and consumption of high density concrete is quite low. This is why the aim of this thesis was to add awareness of high density concrete. Using of high density concrete could sometimes be more efficient in comparison with regular concrete. The reason for this is that with high density concrete it is possible to reach the same outcome with less amount of substance as with regular concrete. For example in hospitals it is sometimes important to be protected from the used ionizing radiation. Due to the high density of this concrete it decreases radiation more than regular concrete.</p> <p>The method used in this thesis was anticipation and planning during workdays. Most of the observation was done on the construction site. The first cast of high density concrete was done in March 2014 and it was a success. This was also a test casting and it was used as the main material for this thesis. Most of the observations dealt with risks and challenges of high density concreting. Moreover, Luja-Betoni Ltd had a program of thermogenesis that was used as a method in this thesis. This constructing with high density concrete was the first time for both companies Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Ltd and Luja-Betoni Ltd. The sources that were used in this thesis were literature on regular concrete and brochures on high density concrete sent by LKAB Minerals Ltd.</p> <p>As a result of this thesis it was found out that casting high density concrete can be used similarly to regular concrete. Planning of challenges was successful and realistic. During test casting there were no surprising problems. The main conclusion of this thesis was that in some occasions high density concreting might be a better construction material than regular concrete.</p>			
<p>Keywords</p> <p>High density concrete, radiation shelter, test cast</p>			

ESIPUHE

Haluan erityisesti kiittää työnantajaani Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:tä, joka mahdollisti opinnäytetyöni tekemisen työn ohessa. Minulle oli motivoivaa päästä tekemään opinnäytetyötä aiheesta, josta ei Suomessa ole vielä merkittävästi tietoa. Lisäksi olen kiitollinen kyseisen työmaan vastaavalle rakennusmestarille Tommo Toroille, joka on auttanut ja innostanut minua monessa opinnäytetyöhöni liittyvässä asiassa.

Kuopiossa 26.3.2014

Juuso Niemelä

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Taustat ja tavoitteet.....	6
1.2	Yhteistyökumppanit	7
1.2.1	Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy	7
1.2.2	Luja-Betoni Oy	7
1.3	Raskasbetoni materiaalina	7
2	SÄDERAKENNUKSEN KOHDE-ESITTELY	9
2.1	Raskasbetonoitava sädebunkkeri.....	9
2.2	Säteilyn huomioiminen sädebunkkerin rakenteissa	10
2.2.1	Ionisoivan säteilyn vaikutukset.....	10
2.2.2	Betonin tiheyden vaikutus säteilyn läpäisevyyteen	10
2.3	Läpivientikappaleet	11
2.4	Syklotroni	12
3	TYÖMAATEKNIikka.....	13
3.1	Sädebunkkerissa käytettävät valumuotit	13
3.2	Massan valaminen.....	14
3.2.1	Massan erottuvuus	14
3.2.2	Massan kuljetus työmaalle	15
3.2.3	Valupaine ja valun nousunopeus	15
3.3	Raskasbetonin lämmönkehitys	15
4	KOEVALU	17
4.1	Muotitus	17
4.2	Raudoitus	18
4.3	Valu	19
4.4	Lämmön tarkkailu	20
4.5	Valmis pinta.....	22
5	LOPPUTULOSTEN TARKASTELU	24
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	25
	LIITE 1: MAGNADENSE SUOMENKIELINEN ESITE.....	26
	LIITE 2: MAGNADENSE SÄTEILYNSUOJAUS ESITE	30

1 JOHDANTO

1.1 Taustat ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on lisätä sekä omaani että muiden tietoisuutta raskasbetonin käytettävyydestä ja havainnoida sen hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Tavoitteena on myös, että lisäämällä tietoisuutta raskasbetonoinnista, madaltuisi kynnys sen käyttämiseen myös muissa projekteissa tai yrityksissä. Rakennusprojektin aikana seurataan raskasbetonoinnin käytännöllisyyteen ja taloudelliseen kannattavuuteen liittyviä asioita verrattuna tavalliseen betonointiin. Lisäksi on tärkeää päästä yrityksen ja työn tilaajan kannalta parhaimpaan mahdolliseen lopputulokseen.

Opinnäytetyön aihe on tärkeä, koska raskasbetonointia on käytetty Suomessa melko vähän. Sen käyttö suomalaisissa rakennusprojekteissa olisi kuitenkin joissakin tilanteissa tavallista betonia kannattavampaa, koska raskasbetonin avulla päästään samaan lopputulokseen pienemmillä ainemäärillä. Esimerkiksi sairaaloissa on ensiarvoisen tärkeää pystyä suojautumaan ionisoivalta säteilyltä, jota syntyy hoito- ja kuvantamislaitteista. Raskasbetoni vaimentaa säteilyn intensiteettiä huomattavasti tavallista betonia voimakkaammin, johtuen sen suuremmasta tiheydestä. Aihe on myös tällä hetkellä ajankohtainen, koska raskasbetonia käytetään Kuopion Yliopistollisen keskussairaalan sädehoitobunkkerin runkorakenteessa.

Alkuperäinen suunnitelma oli tehdä opinnäytetyö koko sädebunkkerin raskasbetonoinnista. Työn aloittaminen kuitenkin viivästyi useiden eri tekijöiden seurauksena niin paljon, ettei tämän suunnitelman toteuttaminen ollut enää mahdollista. Sen vuoksi raskasbetonoinnin tarkastelu on kohdistettu vain koevaluun koko sädebunkkerin sijasta. Tässä työssä käytännössä tehdyt havainnot perustuvatkin koevalusta saataviin tuloksiin ja johtopäätöksiin.

Yksi opinnäytetyön haasteista on se, että siihen liittyvää kirjallisuutta ei juurikaan ole, ja myös tiedonhankinta on hankalaa. Tärkein menetelmä raskasbetonoinnin käytön tarkasteluun onkin käytännönläheinen koevalun suorittaminen. Tietoa kerätään koevalun yhteydessä useista siihen liittyvistä muuttujista ja työn etenemisestä. Esimerkiksi raskasbetonin lämmöntuottoa ja massan koostumusta tarkastellaan koevalun aikana. Kuvat ja muistiinpanot dokumentoidaan projektin aikana ja sen eri välivaiheissa. Lisäksi hyödynnetään myös tavalliseen betonointiin liittyvää tekniikkaa ja lähdeaineistoa, erityisesti niiltä osin mitkä pätevät myös raskasbetonointiin. Tässä opinnäytetyössä huomattavan suuri osa tiedosta täytyy kuitenkin kerätä käytännön ja kokemusten kautta.

1.2 Yhteistyökumppanit

1.2.1 Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy

Työskelen yrityksessä nimeltä Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy. Työnjohtajana valvon ja ohjaan Kuopion Yliopistollisen sairaalan säderakennuksen rakentamista, ja samanaikaisesti kerään kyseisestä projektista opinnäytetyöhöni materiaalia. Kyseinen yritys on kuopiolainen maanrakennusliike joka on perustettu vuonna 1980. Yrityksen toiminta on keskittynyt Itä-Suomen alueelle. Viime vuosina toimenkuvaan ovat kuuluneet maa- ja yhdyskuntateknisten palvelujen lisäksi myös paikalla valettujen betonirakenteiden kokonaisurakointia. Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy työllistää lähes 40 ihmistä. KYSin säderakennus on yrityksen ensimmäinen työmaa, jossa käytetään raskasbetonointia. Raskasbetonoitavat rakenteen valmistuvat kesän 2014 aikana. Itse aloitin työskentelyn tässä yrityksessä kesätoissa vuosina 2011, 2012 ja 2013. Tammikuusta 2014 asti olen työskennellyt yrityksessä kokopäiväisesti.

1.2.2 Luja-Betoni Oy

Luja-betoni Oy on johtava betoniteollisuusyritys Suomessa. Yrityksen liikevaihto on 129 miljoonaa euroa ja heillä työskentelee 639 betoniammattilaista 26 paikkakunnalla Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. (lujabetoni.fi) Luja-Betoni Oy on ollut Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:n pitkäaikainen yhteistyökumppani. Luja-Betoni Oy on toimittanut esimerkiksi betonia ja elementtejä Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:lle. Lisäksi Luja-Betoni Oy on tilannut useita työprojekteja samaiselta yritykseltä. Raskasbetoni valmistetaan Luja-Betoni Oy:n Siilinjärvellä sijaitsevassa betonitehtaassa.

1.3 Raskasbetoni materiaalina

Raskasbetoni on nimensä mukaan raskaampaa kuin normaali betoni. Betoni saadaan raskaammaksi korvaamalla normaali runkoaines tiheämmällä kiviaineella. Normaalin betonin tiheys on noin $2,4 \text{ kN/m}^3$ ja raudoitettun betonin painona käytetään yleensä $2,5 \text{ kN/m}^3$. Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:n nykyisessä projektissa raskasbetonin tiheys ilman raudoitusta tulee olla enemmän kuin $3,5 \text{ kN/m}^3$ johtuen säteilynsuojaukseen liittyvistä vaatimuksista. Raskasbetonia ei ole käytetty Suomessa yhtä paljon kuin monissa muissa maissa, mutta sen käyttöä Suomessa olisi mahdollista lisätä. Betonin toimittajamme Luja-Betoni Oy käyttää betonin runkoaineena Pohjois-Ruotsissa louhitua suuritiheyksistä MagnaDenseä, jonka avulla raskasbetonia tehdään.

Raskasbetonia voidaan käyttää suuren tiheydensä ansiosta esimerkiksi ydinvoimaloissa ja sairaaloissa, joissa vaaditaan voimakasta ionisoivan säteilyn suojausta. Normaalia betonia käyttäessä säteilysuojauksessa ympäröivien rakenteiden massiivisuus saattaa tulla ongelmaksi, mutta koska raskasbetoni on tiheämpää, voidaan sen avulla rakenteita pienentää. Toisaalta myös raskasbetonin tiheyden ansiosta äänet ja värähtelyt saadaan vaimenemaan pienemmällä ainemäärällä. Samalla myös tiheämpi aine varastoi lämpöä tehokkaammin. Lisäksi raskasbetonin suurta massaa voidaan käyttää hyväksi siltojen, sulkujen, patoluukkujen, hissien ja kaivinkoneiden vastapainoina.

MagnaDense on korkealaatuinen suuritiheksinen runkoaines, joka valmistetaan luonnossa esiintyvistä rautaoksidimalmista, magnetiitista (Fe_3O_4). Raaka-aine louhitaan ja jalostetaan tuotantolaitoksissa Kiirunassa ja Malmbergissä Pohjois-Ruotsissa. Rautaoksidimalmin ominaistiheys on 4,7–5,1 kN/m^3 . Kyseistä runkoainesta käyttäen voidaan valmistaa betonia, jonka tiheys on jopa 4 kN/m^3 . Tämä on noin 60 % painavampaa kuin normaali betoni. (LKAB Minerals.) Kyseinen kiviaines tuodaan Pohjois-Ruotsista kuorma-autoilla suoraan Luja-Betonin varastoon Siilinjärvelle. Varasto pitää olla talvella katettu ja lämmitetty, koska kiviaines on niin rautapitoista, että muuten se jäätyy kiinni toisiinsa ja sen käsittely on sen jälkeen hankalaa.

Tämän opinnäytetyön liitteenä on kyseisen raskasbetonin suomenkielinen tuoteselostus, josta löytyy tarvittava tieto kiviaineksesta. Lisäksi toisena liitteenä on englanninkielinen tuoteselostus raskasbetonin käytöstä säteilysuojauksessa.

2 SÄDERAKENNUKSEN KOHDE-ESITTELY

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan raskasbetonin käyttöä rakentamisessa. Raskasbetonilla tehtävät rakenteet sijaitsevat Kuopion yliopistollisen sairaalan alueella. Raskasbetonia käytetään säteilyn suojarakenteena sädebunkkerin rakenteissa. Kyseiset rakenteet tehdään paikalleen valettuina. Työn tilaajana sekä rakennuttajana toimii Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri. Erityistä tästä rakenteesta tekee se, että rakennuksen sisällä tullaan käyttämään ionisoivaa säteilyä potilaiden hoidoissa. Tämän takia rakenteiden tulee estää säteilyn pääseminen ympäröiviin tiloihin. Kyseiset raskasbetonista tehtävät rakenteet tulevat uuden säderakennuksen yhteyteen.

Uusi säderakennus rakennetaan Puijon sairaalan tontille vuosien 2013–2015 aikana. Säderakennus rakennetaan kesällä 2013 puretun vanhan rakennus 7:n tilalle Puijon sairaala-alueen luoteispuolelle. Uudisrakennukseen sijoittuvat sädehoitoyksikkö, syöpätautien poliklinikka, kemoterapiahoitoja antava infuusioyksikkö ja sitä tukevat vastaanottotilat sekä patologian ja THL:n oikeuslääketieteen avaustilat. Kolmikerroksisen säderakennuksen pinta-ala on n. 10 000 neliometriä. Syklotronilla eli hiukkaskiihdyttimellä valmistetaan radioaktiivista ainetta PET-kuvantamista varten. Oman tuotannon ansiosta isotooppien käyttömahdollisuudet laajenevat ja tutkimuksesta tulee aiempaa tarkempaa. (psshp.fi) Lisäksi säderakennuksen perustuksissa on otettu huomioon rakennuksen laajentumismahdollisuus. Sen vuoksi perustukset on mitoitettu kestämään kaksi mahdollista lisäkerrosta.

Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri on Pohjois-Savon 20 kunnan omistama kuntayhtymä, joka koordinoi Kuopion yliopistollisen sairaalan toimintaa. Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri huolehtii alueensa 248 000 asukkaan erikoissairaanhoidosta ja lähes miljoonan itä- ja keskisuomalaisen erityistason erikoissairaanhoidosta Kuopion yliopistollisessa sairaalassa. Sairaanhoitopiiri vastaa myös koko Pohjois-Savon alueen ensihoitopalveluista. KYS on yksi Suomen viidestä yliopistosairaalaista. Se antaa korkeatasoista hoitoa kaikilla lääketieteen erikosisaloilla, tekee kansainvälisesti arvostettua tutkimusta ja kouluttaa tulevaisuuden huippuosaajia. KYS on Suomen suurin lääkärinkouluttaja ja maamme suurimpia terveydenhuoltoalan opetussairaaloita. (psshp.fi)

2.1 Raskasbetonoitava sädebunkkeri

Nimitystä sädebunkkeri käytetään rakennuksen siitä osasta, jossa potilaisiin kohdistuvaa sädehoitoa tullaan suorittamaan. Sädebunkkeri on jaettu noin sadan neliön kokoisiin sädehoitohuoneisiin, joissa potilaita hoidetaan käyttämällä sädehoitoa. Sädehoitohuoneet voidaan eristää tarpeen mukaan muista tiloista. Näitä sädehoitohuoneita tulee bunkkerin sisälle 5 kappaletta. Kyseiset sädehoitohuoneet toimivat rauhan aikana potilaiden syöpähoidossa ja sodan aikana niitä käytetään väestönsuojatiloina. Näissä sädehoitohuoneissa tullaan hoitamaan potilaita pääasiassa keskussairaalapiirin alu-

eelta, mutta harvinaisissa syövässä ja lasten tapauksissa potilaita voi tulla jopa koko suomen alueelta. Nykyisin käytössä olevat laitteet kuten Cyberknife ja CT-kvantamislaitte siirretään rakennuksen valmistettua vanhoista hoitohuoneista tähän uuteen sädebunkkeriin.

2.2 Säteilyn huomioiminen sädebunkkerin rakenteissa

2.2.1 Ionisoivan säteilyn vaikutukset

Sädehoitohuoneissa hoitokoneista aiheutuva säteilyn siirtyminen ympäröiviin tiloihin on estettävä rakenteellisesti, koska ionisoiva säteily on elävälle kudokselle vaarallista. Sädehoitolaitteissa käytetty gamma- ja beetasäteily on ionisoivaa säteilyä, joka aiheuttaa eliöiden DNA:ssa mutaatioita. Ainoat keinot suojautua säteilyltä ovat etäisyyden pidentäminen, altistusajan lyhentäminen, suojarakenteet ja suojarusteet. Betoni on eniten käytetty suojamateriaali ionisoivalle säteilylle sairaaloissa, koska se on suhteellisen halpaa ja olomuodoltaan verrattaen pysyvää (STUK, Säteily ja ydinturvallisuus teos 3, 206). Sädehoitohuoneissa hoitohenkilökunnan on valvottava hoidon etenemistä tietokoneen kautta viereisessä huoneessa, koska tarpeeksi hyviä suojarusteita ei ole mahdollista käyttää. Esimerkiksi lyijyliivien käyttö hoitohenkilökunnalla ei riittäisi suojaksi, koska lyijyn suuren tiheyden takia liiveistä tulisi liian painavia. Suojausten optimoinnissa on huomattava myös materiaalien kerrosten järjestys ja hoitohuonetta ympäröivien muiden tilojen käyttötarkoitus. Säteilyturvakeskus tarkastaa aina sädehoidon laitteen, tilojen turvajärjestelyt, käyttötilojen säteilysuojauksen riittävyyden sekä toiminnan luvanmukaisuuden aina ennen uuden laitteen käyttöönottoa (STUK, Säteily ja ydinturvallisuus teos 3, 216).

2.2.2 Betonin tiheyden vaikutus säteilyn läpäisevyyteen

Erilaisten betoniin perustuvien rakennusmateriaalien tiheys ja alkuainekoostumus vaihtelevat jonkin verran. Niistä tehtyjen, tietyn paksuisten suojusten antama säteilyn vaimennuskin poikkeaa siksi toisistaan. (STUK, Säteily ja ydinturvallisuus teos 3, 163–164.) Yleistykseenä voidaan kuitenkin sanoa, että mitä suurempi tiheys suojamateriaalilla on, sitä paremmin se vaimentaa sekä sähkömagneettista säteilyä että hiukkassäteilyä. Sen vuoksi raskasbetoni on hyvä suojamateriaali ionisoivaa säteilyä vastaan, koska sen tiheys tämän säderakennuksen yhteydessä ($3,5 \text{ kN/m}^3$ ilman raudoitusta), on selkeästi tavallista betonia suurempi (tiheys ilman raudoitusta $2,4 \text{ kN/m}^3$).

2.3 Läpivientikappaleet

Läpivientikappaleilla tarkoitetaan metallisia putkia, joiden läpi esimerkiksi sähköjohdot ja vesiputket kulkevat. Läpiviennit ovat tärkeässä merkityksessä sädebunkkerissa, koska niitä tulee todella paljon sädehoitolaitteiston takia. Haasteelliseksi läpivientiosissa tekee se, että niiden pitää täyttää säteilyturva ja väestönsuoja vaatimukset. Säteilyturvaan liittyen osa läpivientikappaleista on kaarevan muotoisia (kuva 2), joten niiden asentaminen oikeille paikoille on haastavaa. Suoja-Expert Oy valmistaa ja suunnittelee kaikki läpivientiosat sädebunkkeriin. Läpivientiosat tulee kiinnittää huolellisesti valumuottiin tai raudoituksiin, jotta osat eivät pääse liikkumaan valun aikana johtuen valupaineesta sekä valun aiheuttamasta nosteesta.



Kuva 1. Sädehoituhuoneisiin tulevia läpivientikappaleita (Niemelä 2014-03-23)



Kuva 2. Kaarevia läpivientiosia (Niemelä 2014-03-24)

2.4 Syklotroni

Syklotroni on hiukkaskiihdytin. Siinä kiihdytetään varattuja hiukkasia tyhjiössä suureen nopeuteen ja ohjataan ne magneettikentän avulla takaisin uudelleen kiihdyttäväksi. Lopuksi suuren nopeuden saavuttaneet hiukkaset ohjataan ulos laitteesta, jolloin niitä voidaan käyttää esimerkiksi tutkimuskäyttöön tai radioaktiivisten lääkkeiden valmistamiseen. (Lehto, Havukainen, Maalampi & Leskinen, 2011, 30.) Syklotronia tullaankin käyttämään Kuopion yliopistollisessa sairaalassa lääketieteellisiin hoitoihin tarvittavien radioaktiivisten lääke- ja tutkimusaineiden valmistuksessa. Tärkeimpiä mahdollisuuksia, mitä syklotronin avulla pystytään potilaan hyväksi tekemään, ovat PET-kuvaukseen tarvittavien merkkiaineiden valmistaminen sekä niiden merkkiaineiden valmistaminen, joiden avulla syöpäkasvain pystytään erottamaan muista kudoksista. Ennen omaa syklotronia kaikki KYS:in tarvitsemat vastaavat hoitoaineet on toimitettu yhdeltä toimittajalta Helsingistä lentokoneella Kuopioon (psshp.fi).

Syklotroni tullaan sijoittamaan sädebunkkerin viereen rakennettavaan huoneeseen, joka on erotettu muista tiloista käyttäen paksuja betonirakenteita sekä uhrautuvia betoniharkkoja. Uhrautuvilla betoniharkkoilla huoneen sisätila suojataan ja ne absorboivat syklotronin aiheuttamaa säteilyä, jonka vuoksi betoniharkot täytyy vaihtaa tietyin väliajoin.

3 TYÖMAATEKNIikka

3.1 Sädebunkkerissa käytettävät valumuotit

Valumuottina käytetään Framax Xlife -järjestelmämuottia, joka kuuluu Doka-tuoteperheeseen (Kuva 3). Kyseisiä muotteja on helppo ja nopea käsitellä ja ne kestävät pitkään. Muottipintana toimii 21 millimetrin Xlife-levy, joka on päällystetty muovilla. Kyseisellä päällystyksellä taataan hyvä valupinta ja lisätään levyn käyttökertoja. Kyseisessä projektissa tätä muottijärjestelmää käyttäessä suurin sallittu valupaine on 60 kN/m^2 . Tarkoitus on muotittaa yksi sädehoituhuone kerrallaan. Muotitettavaa seinää tulee noin 40 metriä sädehoituhuonetta kohden. Seinien korkeus keskimäärin on 5,15 metriä ja leveys on yksi metri, joten muotitettavaa seinäalaa tulee noin $2 \times 40 \text{ metriä} \times 5,15 \text{ metriä} = 412 \text{ neliömetriä}$. Sädehoituhuoneita on yhteensä viisi kappaletta, joten muotitettavaa seinäalaa on noin 2 000 neliömetriä.



Kuva 3. Doka Framax Xlife -muottiseinää sädehoituhuoneen ympärillä (Niemelä 2014-03-10)

3.2 Massan valaminen

Raskasbetonia valattaessa tulee ottaa huomioon runkoaineen suuri massa, joka saattaa aiheuttaa massan erottuvuutta. Koska matka Siilinjärveltä Kuopioon kestää noin 30 minuuttia, massassa todennäköisesti tapahtuu erottuvuutta kuljetuksen aikana. Ennen betonin siirtämistä kuljetusautosta pumppausautoon tulee massaa sekoittaa hyvin pyörittämällä kuljetusauton pyörintäsäiliötä noin 15 minuutin ajan. Seiniä valaessa täytyy valuputki pitää mahdollisimman lähellä valettavaa pintaa kohtisuorassa siihen nähden, jotta runkoaines ei valuessaan putkesta pääse erottumaan massasta. Myös seinän tiivistämisessä käytettävää suurtaajuussauvaa tulee käyttää huolella ja välttää turhaa massan tiivistämistä, joka edesauttaisi massan erottuvuutta.

Sädebunkkerin seinät on tarkoitus toteuttaa valamalla yksi sädehoituhuone kerrallaan. Yhden sädehoituhuoneen valaamiseen menee raskasbetonia noin 160 kuutiota ja koko sädebunkkerin seiniin menee noin 680 kuutiota. Raskasbetonilla valettavat lattiat sädehoituhuoneissa ovat 25 senttimetriä paksuja ja niihin menee massaa noin 80 kuutiota. Sädebunkkerin katto on puolestaan 70 senttimetriä paksu ja siihen massaa menee noin 375 kuutiota. Yhteensä raskasbetonia koko sädebunkkeriin menee noin 1 130 kuutiota.

Ongelmaksi voi syntyä se, että Luja-Betoni Oy ei pysty tuotannollisista syistä johtuen valmistamaan raskasbetonia kuin 19 kuutiota tunnissa. Tästä voi seurata se, että raskasbetoni ehtii kovettumaan liian paljon jokaisen valukierron aikana.

3.2.1 Massan erottuvuus

Huonosti koossapysyvässä massassa erottuminen tapahtuu siten, että runkoaineen karkein osa painuu pohjaan ja vesi pyrkii nousemaan pinnalle tai valumaan ulos muotin saumoista. Erottumisen seurauksena betoniin muodostuu kivipesiä ja pintakerrosten vesisementtisuhte kasvaa, jolloin betonin lujuus ja kulutuksenkestävyys heikkenevät. Erottumiseen vaikuttavia massan ominaisuuksia ovat mm. notkeus ja runkoaineen rakeisuus. Massan notkeuden lisääntyessä lisääntyy myös erottumistai-pumus, koska karkeat rakeet pääsevät helpommin painumaan pohjalle. (Suomen Betoniyhdistys 2012, 30.)

Raskasbetonin ongelma on sen suuri erottuvuus johtuen runkoaineen kohonneesta massasta ja työ-teknisistä seikoista johtuen massasta pitää tehdä notkeaa. Myös massan pitää olla tarpeeksi notkeaa, jotta betonipumppausauto pystyy pumppaamaan massaa mahdollisimman tehokkaasti. Muuten massa ei ominaisuuksiltaan juurikaan eroa työteknisillä seikoilla normaalista betonista.

3.2.2 Massan kuljetus työmaalle

Betoniautoilla voidaan kuljettaa normaalia betonia 6–12 kuutiota kerrallaan riippuen auton kantavuudesta. 4-akselisilla betoniautolla voidaan kuljettaa enintään noin 8 kuutiota ja 5-akselisella noin 12 kuutiota. Raskasbetonia kuljettaessa tulee ottaa huomioon massan suurempi paino eli kuormakoot pienentyvät 4–6 kuutioon riippuen kuljetuskalustosta. Tämä on huomioitava betonia tilattaessa lyhentämällä kuormien välistä aikaa ja betonin toimittajan varamaan entistä enemmän kuljetuskalustoa kuljettamaan betonia työmaalle.

3.2.3 Valupaine ja valun nousunopeus

Pääosa muottiin tulevasta kuormituksesta johtuu valupaineesta. Sen suuruus riippuu muotin korkeudesta, valunopeudesta, massan notkeudesta ja lämpötilasta, valukerroksen korkeudesta ja tärytyksen tehosta (Suomen Betoniyhdistys 2004, 232). Muottiin tulevaa valupainetta voidaan lisätä tai laskea helpoiten määrittämällä sopiva valun nousunopeus.

Valupaine on suurempi raskasbetonilla kuin normaalilla betonilla, johtuen raskasbetonin suuremmasta tiheydestä, joka taas aiheuttaa suuremman valupaineen muottiin. Valupainetta ja valun nousunopeutta tarkasteltaessa apuna käytettiin muottitoimittajamme sivuilta löytyvää laskuria, jolla voi suuntaa antavasti tarkastella valupainetta. Kyseisen ohjelman löytää sivulta:

<http://www.doka.com/web/tools/apps/doka-apps.fi.php?startPageLanguage=FI>

Täyttämällä tarvittavat kohdat ja käyttämällä muoteille annettua maksimaallista valupainetta 60 kN/m² saatiin määritettyä suurin valun nousunopeus. Lisäksi kyseiseen laskuriin pystyi valitsemaan valettavan betonin tiheydeksi 3,5 kN/m³. Karkeasti arvioituna valun nousunopeus on rajattava 70–80 senttimetriin tunnissa, jotta muotit kestäisivät valamisesta aiheutuvan valupaineen. Yhden sädehoitohuoneen seinien valamiseen menee teoreettisesti noin 8,5 tuntia jos raskasbetonia tulee 19 kuutiota tunnissa. Tällöin valun nousunopeudeksi tulee noin 62 senttimetriä tunnissa.

3.3 Raskasbetonin lämmönkehitys

Raskasbetonin korkean tiheyden ansiosta lämmönkehitys on maltillisempaa ja pidempikestoista verrattuna normaaliin betoniin, koska tiheämpi aine varastoi lämpöä paremmin ja luovuttaa sitä hitaammin. Rakennetta sanotaan massiiviseksi yleensä silloin, kun sen pienin mitta ylittää yhden metrin (Suomen Betoniyhdistys 2012, 118). Sädehoitohuoneiden seinien paksuudet ovat suurimmillaan yhden metrin, joten liiallista lämmönkehittymistä voi tapahtua.

Liiallinen lämmönkehitys aiheuttaa

- pintahalkeilua, koska lämpötilaero tulee suureksi rakenteen pinta- ja sisäosien välillä
- läpimeneviä halkeamia, jos kovettuva betoni on valettu kallion tai aikaisemmin valetun betonin päälle, sillä kovettumisen aikana laajentunut rakenne alkaa jäähtymisen mukana kutistua, eikä alla oleva kylmä rakenne anna periksi
- lujuuden heikkenemistä kun lämpötila ylittää +50 astetta

(Suomen Betoniyhdistys 2012, 119).

Onneksi suurin osan raskasbetonoinnista suoritetaan keväällä, jolloin ulkolämpötilat eivät ole vielä nousseet korkealle, joten lämmönkehitys on maltillisempaa. Tosin lämpötilaerot silloin rakenteen pinta- ja sisäosien välillä kasvavat johtuen viileästä ulkoilmasta ja lämpimästä seinästä. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että lämpötilaero aiheuttaa rakenteen halkeilua jos se ylittää 20 astetta (Suomen Betoniyhdistys 2004, 546).

Lämpötilaeroista johtuvat halkeamat syntyvät, kun betonin vetolujuus ja muodonmuutoskyky ylittyvät betonin jäähtymisen aiheuttaman kutistumisen seurauksena. Tällainen tilanne voi syntyä, kun lämpötilaerojen aiheuttamat muodonmuutokset eivät voi tapahtua vapaasti. Muodonmuutokset estää yleensä toinen rakenneosa tai saman rakenneosan sisempi osa, jonka lämpötila ei laske yhtä nopeasti kuin pintaosan lämpötila. Halkeamat alentavat aina betonin laatua, koska ne lisäävät sen läpäisevyyttä. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 92–94.)

4 KOEVALU

Koevaluna tehtiin yksi sädehoituhuoneen seinistä, jossa ei ollut lainkaan oviaukkoja tai läpivientejä. Kyseisellä seinällä on pituutta 12 metriä ja korkeutta 5,28 metriä. Raskasbetonia kyseiseen seinän valuun meni 61,5 kuutiota. Valunopeus oli noin 9 kuutiota tunnissa, joten valun pinta nousi 75 senttimetriä tunnissa. Kyseisellä valulla saatiin tärkeää tietoa raskasbetonista, sen valamisesta, käyttäytymisestä sekä muista ominaisuuksista. Koevalun tarkoituksena oli myös testata Luja-Betoni Oy:n tehtaan toimintaa ja raskasbetonin siirtämistä pumppausautolla.

4.1 Muotitus

Työ aloitettiin asentamalla seinän ulkopuolinen muottikierto paikoilleen maassa valmiiksi tehdyillä järjestelmämuoteilla (kuva 4), jotka nostettiin nosturin avulla paikoilleen. Muottisuunnittelija Doka Oy:ltä oli suunnitellut muottijaon valmiiksi kyseiselle seinälle. Kun seinän ulkopuoli oli muotitettu valmiiksi, seinää aloitettiin raudoittamaan. Raudoituksen jälkeen seinän sisäpuoli muotitettiin valmiiksi valua varten.



Kuva 4. Koevaluseinän ulkopinta muotitettuna (Niemelä 2014-02-27)

4.2 Raudoitus

Raudoitukset seinään määräytyivät suoraan väestönsuojavaatimusten perusteella. Seinän ulko- ja sisäpintaan koko matkalle tuli pystyyn ja vaakaan harjateräs, joka oli halkaisijaltaan 20 millimetriä. Pysty- ja vaakaterästen keskinäinen jako oli 150 millimetriä. Seinän yläpäähän tuli samalla jaolla hakaset kahdelle eri tasolle johtuen kavennuksesta seinän yläpäässä, johon sädebunkkerin holvivalu valetaan aikanaan (kuva 5). Seinälle tulevat tartunnat anturasta olivat myös halkaisijaltaan 20 millimetriä. Kyseiset harjateräkset olivat 150 millimetrin jaolla ulko- ja sisäpinnassa, ne näkyvät kuvassa 4.



Kuva 5. Seinän raudoitus melkein valmiina (Niemelä 2014-03-06)

4.3 Valu

Valu aloitettiin perjantaina 7.3.2014 kello 8.00 ja pumppuautona toimi Putzmeister 31. Sen 31 metrin pituisella puomilla yletettiin hyvin seinän joka kohtaan. Lämpötila valun aikana oli noin 5 astetta. Raskasbetonikuormia pumppausautolle oli ajamassa 4 kappaletta kuljetusautoja. Kuormaväliksi tuli noin 25–35 minuuttia, joka oli tilanteensa nähden hyvä. Valupinta nousi suunnitellulla tavalla ja nopeudella. Massa oli notkeusluokaltaan S4, eli melko juoksevaa seinävaluihin. Kyseisellä notkeusluokalla on hyvät ja huonot puolensa. Juokseva massa on hyvä leviämään muotissa ja se ei tarvitse massan leviämiseen sauvatärytintä. Yleensä juoksevalla massalla saadaan hyviä valupintoja. Huonoja puolia juoksevalla massalla on, että massa pyrkii tulemaan pienestäkin kolosta ulos ja sen kohonnut valupaine.

Seinää valettiin 3–4:stä eri kohdasta tiputtamalla valuputki lähelle valettavaa pintaa ja antamalla massan levitä siitä kohdalta välillä sauvatärytintä käyttäen (kuva 6). Massa levisi todella hyvin seinässä ja pumppausauto jaksoi pumpata tiheämpää massaa. Näin tiheää massaa ei ole tiettävästi Suomessa ennen pumpattu pumppausautolla.



Kuva 6. Seinän valaminen valuputken kanssa (Niemelä 2014-03-07)

Valun ongelmaksi meinasia muodostua yhdestä kuljetusauton pyörintäsäiliöstä irronneet vanhat betonipalat, jotka kulkeutuivat pumppuauton linjastoon samalla tukkien sen. Ongelmasta selvittiin puhdistamalla pumppausauton linjasto. Muuten valu onnistui todella hyvin ja aikaa seinän valamiseen meni noin kahdeksan tuntia. Kuvasta 7 voi nähdä, miltä valun pinta näyttää juuri valettuna.



Kuva 7. Seinä valettuna (Niemelä 2014-03-07)

4.4 Lämmön tarkkailu

Betonintoimittajamme Luja-Betoni Oy kävi asentamassa seinään ennen valua neljä anturia eri kohtiin, jotka mittasivat seinän lämpötiloja betonin sisältä (kuva 8). Alla oleva taulukko esittää mittauspisteitten paikat.

Taulukko 1. Mittauspisteiden sijainnit (Niemelä 2014-03-15)

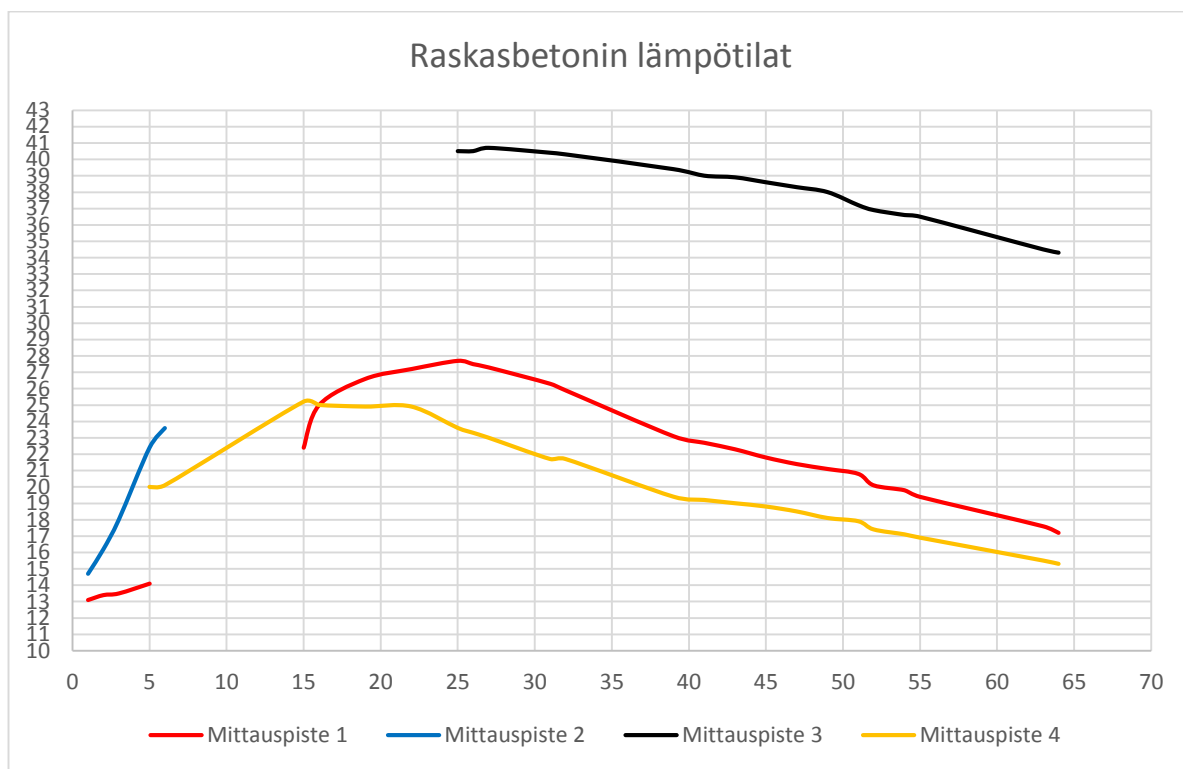
	Korkeus seinän alareunasta	Seinän paksuus kyseisellä kohdalla
Mittauspiste 1	5 m	0,4 m
Mittauspiste 2	1,5 m	1 m
Mittauspiste 3	2 m	1 m
Mittauspiste 4	0,1 m	1 m



Kuva 8. Yksi neljästä lämpötila antureista (Niemelä 2014-03-06)

Mittauspisteiden tiedot välittyivät suoraan internetiin, josta niitä pystyi tarkastella. Tämä Luja-Betoni Oy:n laaduntarkkailu käytäntö oli erinomainen apukeino opinnäytetyön tekemiseen. Näin oli mahdollista seurata seinän lämpötiloja kotoa käsin.

Havaituista mittaustuloksista saatiin kuvio 1. Kyseisen kuvaajan pystyakseli kuvaa lämpötilaa celsius asteina ja vaak-akseli puolestaan kuvaa aikaa tunteina. Kuvaajasta näkee, että seinän lämpötilat pysyivät maltillisena sekä suuria lämpötilaeroja mittauspisteiden välillä ei syntynyt. Valitettavasti osa antureista ei toiminut odotuksien mukaisesti, joten osa tuloksista puuttuu. Kuitenkin saaduista tuloksista voidaan havaita kokonaiskäsitys, eli se ettei lämpötila raskasbetonilla noussut niin paljon kuin normaalilla betonilla samoissa olosuhteissa.



Kuvio 1. Raskasbetonin lämpötilat koevalussa (Niemelä 2014-03-15)

4.5 Valmis pinta

Muottien lukot käytiin avaamassa jo lauantaina helpottaen seuraavan viikon muottien purkua. Muottien purku aloitettiin maanantaina, jolloin seinän purkulujuus oli jo saavutettu. Valupintaa tarkasteltaessa (kuva 9 ja 10) voidaan todeta, että valu on onnistunut todella hyvin ja runkoaineen erottumista ei tapahtunut. Valupinta seinässä oli sileä ja tasainen eikä mitään poikkeavaa ollut havaittavissa.



Kuva 9. Seinän pinta ulospäin (Niemelä 2014-3-10)



Kuva 10. Seinän pinta sädehoitohuoneeseen päin (Niemelä 2014-03-10)

5 LOPPUTULOSTEN TARKASTELU

Koevalu onnistui yli odotusten ja siitä saatiin tärkeää tietoa raskasbetonoinnista jatkoa ajatellen. Ennen koevalun tekemistä useat käytännön asiat olivat täysin teoreettisella pohjalla, eikä Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:llä ollut lainkaan käytännön kokemusta raskasbetonoinnista. Erityisen arvelluttavaa oli raskasbetonin valaminen sekä sen lämmönkehitys sitoutumisreaktion aikana, koska kyseessä oli massiivinen rakenne. Betonintoimittaja Luja-Betoni Oy:llekin tämä tilanne oli uusi, ja heilläkään ei ollut aiempaa käytännön kokemusta raskasbetonin valmistamisesta. Näiden edellä mainittujen seikkojen vuoksi koevalun tekeminen oli välttämätöntä hyvän lopputuloksen varmistamiseksi. Varsinainen raskasbetonointi sädebunkkeria varten kestää koko kevään ja alkukesän 2014 ajan.

Raskasbetonin koevalu onnistui erinomaisesti ja todisti sekä Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:n että Luja-Betoni Oy:n olevan kyvykäs varsinaisen raskasbetonoinnin suorittamiseen. Raskasbetonin valmistus onnistui Luja-Betoni Oy:n puolelta hyvin, ja yhtä lailla sen valaminen seinään sujui odotusten mukaisesti. Doka Framax Xlife -muottijärjestelmä osoittautui toimivaksi ratkaisuksi myös raskasbetonille. Toisin kuin etukäteen pelättiin, raskasbetonin lämmönkehitys pysyi melko matalana koko sitoutumisreaktion aikana. Mitatut lämpötilat olivat yllättäen huomattavasti matalampia kuin normaalilla betonilla olisi vastaavissa olosuhteissa ollut. Tämä oli positiivinen havainto. Lisäksi onnistunut koevaluna tehty betoniseinä säästi yrityksille Maanrakennuspalvelu Mikko Lyytinen Oy:lle ja Luja-Betoni Oy:lle merkittävästi aikaa ja rahaa, sillä koevalussa käytetty raskasbetoni ei onnistuessaan mennyt hukkaan vaan jäi valmiiksi rakenteeksi tulevaa sädebunkkeria varten.

Vaikka koevalu onnistui hyvin, sen yhteydessä ei kuitenkaan pystytty kokeilemaan kaikkia tähän raskasbetonointiin liittyviä haasteita. Esimerkiksi keväällä 2014 betonoitaviin rakenteisiin lisää haasteita tuovat oviaukot ja sädehoitolaitteiden tarvitsemat läpivientiosat, joita tulee rakennukseen paljon. Lisäksi koevalu oli vasta ensimmäinen raskasbetonoitava kohde, joten täyttä varmuutta ja rutiininomaista työskentelyä sen suhteen ei luonnollisesti vielä ole. Myös Luja-Betoni Oy tulee kohtamaan lisää haasteita joutuessaan toimittamaan paljon suurempia määriä raskasbetonia koevaluun verrattuna. Koevalu antoi kuitenkin itsevarmuutta raskasbetonoinnin onnistumiseen, joten riittävän kattavalla suunnittelulla myös edellä mainituista haasteista pystytään selviytymään.

Riskien kartoituksessa onnistuttiin hyvin ja realistisesti. Ilman riittävää suunnittelua ja asiaan perehtymistä koevalun tai suoraan säderakennuksen raskasbetonoiminen olisivat voineet aiheuttaa mittavia taloudellisia menetyksiä ja käytännön haasteita. Toisaalta koevalussa ei huomattu mitään sellaisia ongelmia, joihin ei ollut varauduttu. Sen vuoksi onkin perusteltua sanoa, että valmistautuminen koevaluun varten oli riittävä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

LEHTO Heikki, HAVUKAINEN Raimo, MAALAMPI Jukka, LESKINEN Janna 2011. Fysiikka 7 – Sähkömagnetismi. 1. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi

LKAB Minerals 2013. MagnaDense – Raskasbetoni ja painolasti. Tuote-esite [verkkojulkaisu]. [Viitattu 2012-02-20.] Saatavissa: Liite 1

Lujabetoni.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-02-20] Saatavissa: <http://www.lujabetoni.fi/>
Polku: [lujabetoni.fi](http://www.lujabetoni.fi/). Lujabetoni yrityksenä.

Psshp.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-02-22] Saatavissa: <http://www.psshp.fi/>
Polku: [psshp.fi](http://www.psshp.fi/). Sairaanhoidopiiri. Hankkeet. Puijon sairaalan rakennushankkeet. Säderakennus.

Psshp.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-02-22] Saatavissa: <http://www.psshp.fi/>
Polku: [psshp.fi](http://www.psshp.fi/). Sairaanhoidopiiri

Psshp.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2014-03-18] Saatavissa: <http://www.psshp.fi/>
Polku: [psshp.fi](http://www.psshp.fi/). Uutiset. KYSille oma syklotroni.

STUK. Säteily ja ydinturvallisuus kirjasarja. Teos 3, Sädehoito – Petri Sipilä. [verkko- ja kirjajulkaisu] Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi

STUK. Säteily ja ydinturvallisuus kirjasarja. Teos 3, Röntgensäteily diagnostiikassa – Markku Tapiovaara, Olavi Pukkila, Asko Miettinen. [verkko- ja kirjajulkaisu] Saatavissa: http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi

SUOMEN BETONIIYHDISTYS. 2012. Betonityöt by 205. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

SUOMEN BETONIIYHDISTYS. 2004. Betonityöt by 201. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

.

LIITE 1: MAGNADENSE SUOMENKIELINEN ESITE



LKAB Minerals

MagnaDense

Raskasbetoni ja painolasti

MagnaDense

Enemmän painoa pienessä tilavuudessa

MagnaDense on korkealaatuinen, suuritiheyskainen runkoaines, joka valmistetaan luonnossa esiintyvistä rautaoksidimalmista, magnetiitista (Fe_3O_4). Raaka-aine louhitaan ja jalostetaan omissa tuotantolaitoksissamme Kiirunassa ja Malmbergissä Pohjois-Ruotsissa. Pystymme näin takaamaan pitkäaikaisen ja luotettavan raaka-aineen korkealaatuiselle materiaalille.

Käyttökohteet

Suuren ominaispainonsa ansiosta MagnaDenseä käytetään irtopainolastina tai runkoaineena korkealaatuisen suuritiheysbetonin valmistukseen. Betoni voidaan helposti sekoittaa ja valaa tavanomaisilla välineillä.

Irtopainolasti

- Öljyn- ja kaasunporauslauttojen ja silta-arkkujen painolasti
- Vedenalaisten rakenteiden tai putkien eroosiosuoja
- Maaperän stabilointi paalutustarpeen vähentämiseksi

Suuritiheysbetoni

- Säteilysuojaus (lääketiede & ydinvoima)
- Vastapainot (sillat, sulut, patoluukut, hissit, kaivinkoneet)
- Vedenalaiset betonirakenteet (tunnelit, putkiarinat)
- Rannikon suojaus (aallonmurtajat – valmiit antiferkuutiot)
- Putkien pinnoitus (ei-kelluvat pinnoitteet)

Ainutlaatuisen ominaisuuksiensa ja eurooppalaiset rakentamissäädökset täyttävän koostumuksensa ansiosta MagnaDenseä voidaan käyttää erinomaisesti eri käyttökohteissa ja teollisuusaloilla.

Vakiolaadut

MagnaDenseä on saatavilla karkeampana ja hienompana laatuna sekä erilaatujen seoksena. MagnaDense täyttää EN 12620 normin vaatimukset ja on CE-merkittyä. Raekoot 'top size' ovat alle 2, 8 ja 20 mm.

Laadut

- | |
|----------------|
| MagnaDense 20S |
| MagnaDense 8S |
| MagnaDense 2 |



Säteilysuojaus

Kun tarvitaan säteilysuojauksia, esimerkiksi sairaaloiden syöpähoito-osastoilla, MagnaDense on hyvä vaihtoehto. Suuritiheysbetonin käyttö rakenteissa vähentää kustannuksia ja mahdollistaa potilasystävällisemmän rakenteen (ohuemmat seinät hoituhuoneessa).

Erikoisominaisuudet

MagnaDensen suuren tiheyden ansiosta haluttu paino saadaan aikaan pienemmällä tilavuudella tai vaihtoehtoisesti suurempi paino tietyllä tilavuudella, mikä parantaa kokonaistaloutta. MagnaDensen avulla voidaan valmistaa betonia, jonka tiheys on 4 t/m³. Tämä on noin 60% painavampaa kuin tavallinen betoni.

MagnaDensen erinomaisten hiukkasominaisuuksien ansiosta tuotteesta voidaan helposti valmistaa korkealaatuista suurtiheysbetonia.

MagnaDenseä on pitkään käytetty sekä paikallavalu- että elementtikohteissa.

Suuri hiukkastiheys antaa MagnaDenselle useita etuja:

- Pienempi tilavuus = pienempi kaivu-/kuljetus-/raudoitustarve sekä ajansäästö
- Suurempi paino tietyllä tilavuudella
- Pienempi hydrataatiolämpö
- Suuri tiheys upotuksissa / kyllästettynä
- Hyvät säteilysuojusominaisuudet
- Tilan säästö
- Melun ja värinän vaimennus
- Lämpöenergian varastointi

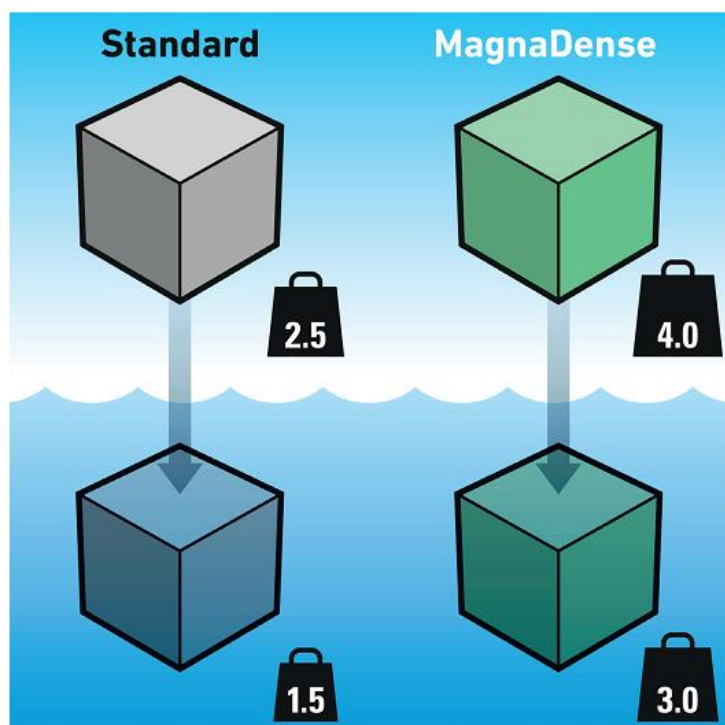
MagnaDense on luonnossa esiintyvää rautaoksidia eli se on vaaratonta ympäristölle, myrkytön kaikissa olomuodoissaan ja yksi harvoista saatavilla olevista ympäristöystävällisistä materiaaleista.

Fysikaaliset ominaisuudet

Ominaispaino (t/m ³)	4.7–5.1
Kovuus (Mohs)	5.5
H ₂ O imeytyminen (%)	<0.3
Hiukkasmuoto	Kulmikas

Maailmanlaajuisesti

MagnaDense toimitetaan asiakkaille irtotavarana tai säkeissä laivoilla, proomuilla tai kuorma-autoilla kaikkialle maailmassa.



Archimedeen laki - 1 m³ betonin paino (tonneissa) ilmassa ja vedessä
Nesteeseen upotetun esineen paino laskee yhtä paljon kuin esineen syrjäyttämän nestemäärän paino. Tämän vuoksi suuritiheysbetoni on suosittu vaihtoehto vedenalaisissa rakenteissa.



Uusiutuva energia

Offshore tuulivoimapaistojen rakentaminen on lisännyt irtopainolastien ja raskasbetonin kysyntää maailmalla..

LKAB MINERALS
WWW.LKABMINERALS.COM

SWEDEN (HEAD OFFICE)
+46 771 760 400

CHINA
+86 22 2435 1706

FINLAND
+358 17 266 0160

FRANCE
+33 320 055 167

GERMANY
+49 201 450 60

GREECE
+30 2310 539073

HONG KONG
+852 2827 3000

THE NETHERLANDS
+31 168 388 500

SINGAPORE
+65 6392 49 22

SLOVAK REPUBLIC
+421 2 5930 5753

SPAIN
+34 93 886 1330

UNITED KINGDOM
+44 1724 277 411

USA
+1 513 322 5530



LKAB Minerals on kansainvälinen teollisuusmineraalikonserni, jolla on johtava asema useissa tuoteaplikaatioissa. Kehitämme kestäviä mineraaliratkaisuja yhteistyössä asiakkaittemme kanssa ja toimitamme luonnonmineraaleja, jotka on jatkojalostettu toimiviksi ja helposti käytettäviksi.

LKAB Minerals on osa ruotsalaista LKAB konsernia, yksi maailman johtavista korkealle jalostettujen rautamalmituotteiden ja muiden kaivostoimintaan liittyvien palvelujen ja tuotteiden valmistajista.

Arvomme

Olemme ylpeitä ja intohimoisia siitä mitä teemme - tämä näkyy myös arvoissamme Peräänantamattomuus, Innovatiivisuus ja Vastuullisuus.

Lupauksemme

Visiomme mukaisesti lupaamme toimittaa Mineraaliratkaisuja Yhteiselle Maailmallemme. 'Mineraaliratkaisuilla' tarkoitamme, että yhdessä asiakkaamme kanssa tunnistamme ja kehitämme oikean palvelun ja tuotteen juuri hänen käyttökohteeseensa. 'Yhteisellä Maailmalla' tarkoitamme valittuja aplikaatioalueita, joissa olemme kehittäneet laajaa osaamista ja joissa mineraalitekniikkamme ja jalostustaitomme tuovat lisäarvoa asiakkaallemme. 'Yhteisellä Maailmalla' tarkoitamme myös, että hyväksymme vastuumme ympäristöstämme ja yhteisöistä lähellämme. Toimimme selkeällä kestävän kehityksen periaatteella.

Information presented is intended for guidance only and given in good faith but without guarantee.

Version MagnaDense Product Brochure, 06-01FI, 13-09

LIITE 2: MAGNADENSE SÄTEILYNSUOJAUS ESITE



LKAB Minerals

MagnaDense

for Radiation Shielding Concrete



Origins

MagnaDense is a natural iron oxide mined in Sweden with high density in the range of 4.7 - 5.1 t/m³.

Applications

When used as a concrete aggregate, densities of up to 4.0 t/m³ can be achieved. Standard dense concrete typically has a density of up to 2.6 t/m³, whereas high density concrete gives full protection but uses less space. With the high cost of floor space this saving becomes very important.

High density = Saved space = Cost saving

MagnaDense has a long history of use as a construction material. Apart from its weight, it has similar characteristics to standard concrete aggregates and can be placed by skip or pump as is done with standard dense concrete. Although the delivered cost of high density concrete is more expensive than standard concrete, total construction costs can be reduced through

- savings in preparation time
- less reinforcing steel
- lower placing costs
- reduces plant hire, and
- increase in useable floor space

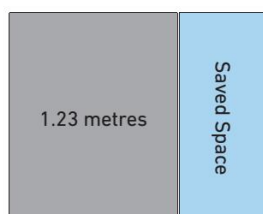
The excellent characteristics of MagnaDense, with attributes such as reduced maximum temperature of concrete, enables high quality, high density concrete to be easily produced.



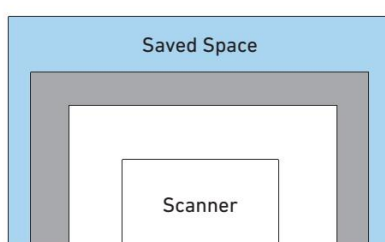
LKAB Minerals



Standard Concrete = 2,4 t/m³



MagnaDense Concrete = 3,9 t/m³



Practical use of MagnaDense

Grades

MagnaDense 20S

MagnaDense 8S

MagnaDense 2

Compliance with Standards:

- Approved as concrete aggregate according to EN 12620
- Approved as aggregate for Radiation Shielding Concrete DIN 6847-2

MagnaDense grades may be purchased as individual grades as above. We also offer a blending service to customer specifications. MagnaDense has a long history of use as a construction material for both in-situ and precast applications.

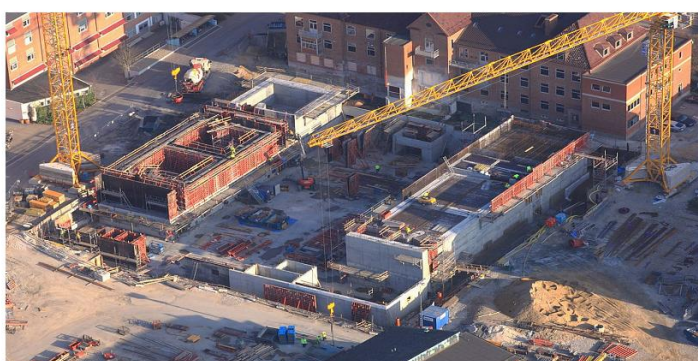
Physical properties

Particle Density (dry)	4.7 - 5.1
H2O Absorbtion	<0.3%
Particle Shape	Angular
Surface Texture	Rough

The above are results of tests carried out by a UKAS approved laboratory.

High Particle Density offers several advantages for Radiation Shielding:

- Reduced volumes - less excavation/ transportation / reinforcement and time
- Good Radiation shielding characteristics
- Increased weight for a given volume
- Reduced risk of cracking due to control of heat of hydration
- Space Saving
- Noise and vibration dampening
- Thermal energy storage



Any data presented is intended for guidance only and given in good faith but without guarantee. Version MagnaDense Radiation Shielding 02-02 EN 13-09

WWW.LKABMINERALS.COM

SWEDEN (HEAD OFFICE)
+46 771 760 400

FINLAND
+358 17 266 0160

GERMANY
+49 201 450 60

HONG KONG
+852 2827 3000

SINGAPORE
+65 6392 49 22

SPAIN
+34 93 886 1330

USA
+1 513 322 5530

CHINA
+86 22 2435 1706

FRANCE
+33 320 055 167

GREECE
+30 2310 539073

THE NETHERLANDS
+31 168 388 500

SLOVAK REPUBLIC
+421 2 5930 5753

UNITED KINGDOM
+44 1724 277 411